

コーン方式における粘性土の圧縮特性

日本大学工学部 正会員 ○石井和樹

学生会員 小山田吉孝

1. はじめに

この報告は、締固め粘性土に局部的な圧縮応力を加えた時の、破壊形状についての研究報告である。局部的な圧縮方法として、一端を、一軸圧縮試験と同様に平面圧縮とし、他端を先端角度の異なる加圧板とし、側面拘束されない円柱形供試体を、軸方向に圧縮した時の、キレツ発生の変化を、供試体の作製方法を変えて、応力、ヒズミ曲線および写真撮影でのキレツ状態について比較検討し、破壊機構についての基礎研究を行なった。貫入先端部分が円錐形を用いて貫入抵抗を測定した文献は多くある、たとえば、コーンペネトロメーター貫入抵抗と一軸圧縮強度との関係¹⁾および先端角度の差異による杭先の影響²⁾などの研究がある。しかし土を締固めた場合は構造的な異方性が存在することが判明している。³⁾⁴⁾⁵⁾土の構成と先端角度の異なる場合の影響を考慮して、土の変形、破壊形態に着目して、現象面を親身より述べたものである。

2. 試料および試料の性質

室内試験で使用した試料の物性は、表-1に示される。市販粘土高島カオリンと福島県富久山産粘土の2種類で、試験初期の状態は、充乾燥でフルイ目2mm通過試料を用いる

	G_s	LL	PL	PI	$w_{lim}(H_2O)$	$w_{opt}(H_2O)$
高島カオリン	2.65	71.00	32.27	33.73	1.402	31.00
富久山産粘土	2.63	60.00	23.30	34.30	1.530	24.00

表-1 試料の性質

3. 試験方法および供試体の状態

3.1 試験方法

充乾燥粘土を2mmフルイで通過させフルイに残留する試料は、すべり手ではきぼくし噴霧器で粘土試料全体に水分なじみ状態を良くさせ締固めの試験を行なう。締固めの試験はJIS A 1210に準じて円筒型モールドの直径10cm、高さ12.7cm、ランマー重量25kg、落下高30cmで行なう。実固め層数は

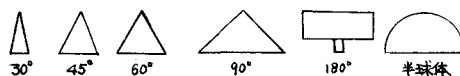


図-1 先端加圧板

2層、3層、と上、中、下層の体積が同一体積で抽出出来るモールドを作製し3層で実固めた三方法で、打撃回数は各層25回とする。図-2(a)に示される斜線部分は、モールド内の平均密度を一定に保ち先端角度の差異による圧縮強度比較上、バラツキを少なくさせるために四等分に切り出し成形する。供試体の高さは図-2(b)の様にモールド上端、下端で各々2cm削る。成形供試体の直径は3.5cm、高さ8.8cmとし4本で1個の試験値とした。圧縮試験機は1軸圧縮試験機を使用した。先端加圧板は図-1に示す30°, 45°, 60°, 90°, 180°, および半球体の6種類とする。圧縮速度は1%/minで荷重増加し、応力が低下する直前を最大先端抵抗値とみなす。しかし応力が継続して増加の一途を辿る場合は、1軸圧縮試験と同様に15%ヒズミをもって最大値とする。

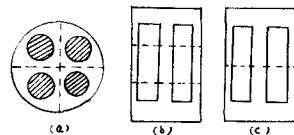


図-2 締固め供試体

3.2 締固めた供試体の状態

試料は、すべて飽和粘土に近い状態で締固めの最適含水比を超えた含水比に調整した。この時、カオリンの含水状態は塑性限界37%とほぼ一致する含水比である。この時の締固められた供試体の粘土構造の配列は図-3のように層面と層面の境界部分で粘土粒子が塊状に配列されている。しかしJISA1210で使用されるモールド図-3 三層供試体には層面の塊状配列を顕著に表わさない。一般的な傾向として含水比の増加とともに塊状になると判断されるのは粘性土の特徴として衆知のとおりであるが、含水比が多く集中しているか否か、各層の上端、下端で検討した結果誤差は1%以下に認められた。結局応力の伝達が下層部にまで全エネルギーの影響を与えないで、側壁に効率的エネルギーの一部が、消散するものと考えられる。



4. 試験結果および考察

4.1 先端角度と先端抵抗

図-3, 4はコーン先端角度を30°, 45°, 60°, 90°, および平板(180°)の5種類の加圧板で圧縮したときの応力と先端抵抗値(kg)と単位面積当りの抵抗値(kg/cm²)とで表わしたものである。曲線Iは富久山産粘土で $w=37\%$, $d_s=1.377\phi$ の先端抵抗値をプロットしたものでII~IVは高島カオリンで $w=36\% \sim 37\%$, $d_s=1.226 \sim 1.381$ の範囲で成形された供試体である。図-3より先端抵抗値は先端角度の大きなもの程角度に比列して増加の傾向を示す。また供試体の間隙比が減少するに従って、曲線が図-3のIIからII'の方向に移動する、II'の曲線の間隙比は0.775, II曲線の間隙比は1/62で試験結果を得た。

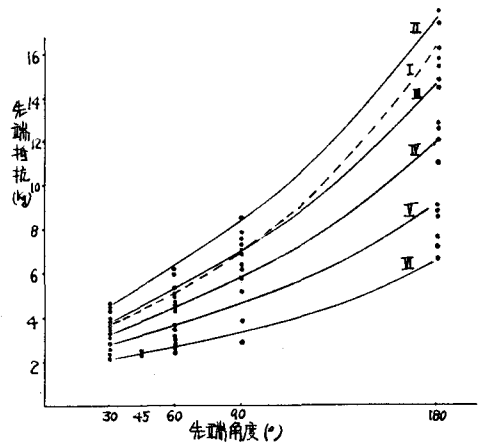


図-3 先端角度と先端抵抗

図-4は、先端コーンが鉛直方向より円柱形供試体の中心部に貫入した場合の貫入量を d として、コーン先端抵抗値を P_0 として d, P_0 を試験値より求め、この時使用したコーンの先端角度を θ として貫入単位面積当りの強度を便用上 $q_{\theta 0}$ (kg/cm²)で表示すれば次式が得られる。

$$\text{一般式として} \quad q_{\theta 0} = \frac{P_0}{\pi d^2 \tan^2 \frac{\theta}{2}} \quad \dots (1)$$

(1)式に各々90°, 60°, 45°, 30°を代入すれば

$$90^\circ \text{の場合} \quad q_{90} = \frac{P_{10}}{\pi d^2}$$

$$60^\circ \text{の場合} \quad q_{60} = \frac{3 P_{60}}{\pi d^2}$$

$$45^\circ \text{の場合} \quad q_{45} = \frac{(3+2\sqrt{2}) P_{45}}{\pi d^2}$$

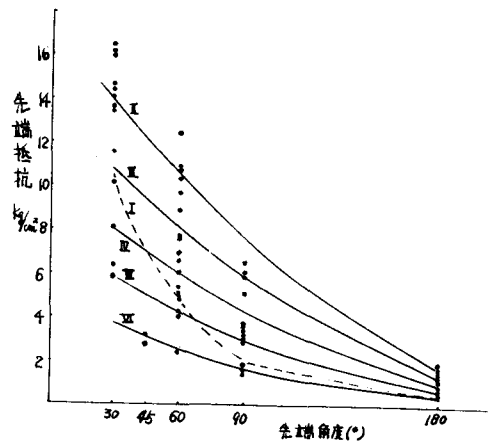


図-4 先端角度と

30°の場合

$$p_{0.30} = \frac{(7+4\sqrt{3})p_0}{\pi d^2}$$

上式より破壊貫入量と粘性土の抵抗値を数値代入して計算し作図されたものが図-4である。図-3図-4を比較すれば、先端角度と先端抵抗値は逆分配の曲線として表われる。この現象を考察すると鋭角の場合は貫入量に対してコーン表面積が相対的增加を示し、微少面積当りの粘土粒子との接触表面積増大にともなう強度増加と推測出来る。1軸圧縮の場合は側面拘束されない状態であるが、コーンの場合は一定断面に対して貫入させるために一種の側面拘束の影響が作用するものと考えられる。別の事項として、円錐面に付着力が作用して圧縮時間の経過によって抵抗値の増加現象が生ずる。

4.2 破壊形態

4.2.1 スペリ面破壊

1軸圧縮試験を行なう際、極一般的に生ずる破壊形態である。写真-1の右端がその代表的な破壊を示している。本試験では土の内部摩擦角として $\phi = 23.6^\circ \sim 25.7^\circ$ の範囲で求められた。

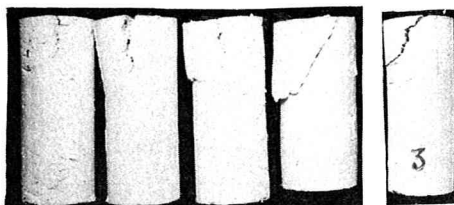


写真-1

写真-2

4.2.2 側面膨張破壊

4.2.1と同様な試験において供試体の中央部分で側方膨張現象が起きる写真-4がその例である。これは、スぺリ面破壊と側面膨張破壊を併合した状態となっている。



写真-3

4.2.3 鉛直破壊

先端コーンを使用した場合の代表的形態を示すのが鉛直破壊である。供試体中央部で鉛直キレツの発生を見る事出来る。写真-1左端より3本がその性状を顕著に示している。しかし本日は4.24.で述べる層面破壊を併合している。30°, 60°, 90°にこの破壊の傾向がある。半球体の場合も他の破壊形態を併合して生ずる場合もある。



写真-4



写真-5



写真-6

4.2.4 層面破壊

図-2(a)の方法で締固めた供試体は、図-3に示される構造性を呈している。各層の上端では、ランマーによる繰返し圧縮力に起因して結合力が増大し、層面付着力と締固めのうれた結合力との応力差が付着力に対比して大きく表われる。その結果として構造上不安定な層面でキレツが発生し層面破壊に至る。写真-2, 6, がその代表的な例である。写真-2, 6は三層モールドで作製した供試体で上端より1/4の部右に層がある。写真-5は二層締固め供試体で中央部に層面がある。しかし層面は二層モールドの様子に平面的な面を作製しないで、ランマーの圧縮力によって中央部が窪みを呈しているため、標準1軸圧縮を行なったにもかかわらず不規則な破壊に至っている。

4.2.5 一次破壊、二次破壊

コーン方式で粘土供試体を圧縮した場合の応カーヒズミ曲線は図-5(b)(c)(d)で示される。各々90°, 60°, 30°, で測定したもので曲線軌跡の比較上、土の強さを供試体断面積で除いた値で求めた。それによ

れば、(c)曲線は6.5%ヒズミで降伏点に達し、最大応力値を示す、なお継続して圧縮すれば15%ヒズミで又第二降伏点を示す傾向を得た、便宜上第一、二降伏点を一次破壊、二次破壊と表現する。この現象は前項の層面破壊後に表われる。

4.3 1軸圧縮試験結果

同一条件下で行われた1軸圧縮試験値は図-6に示されるとおり、初期応力の相違又は認められないがピーク附近において強度の乱れが生ずる。4.2.1～4.2.5で述べた破壊形態の違いによる強度減少と推定出来る。

5. あとがき

コーン方式による土の挙動を調べた結果1軸圧縮破壊と異なる破壊形態として、鉛直破壊、層面破壊、二次破壊の項目を指摘する事が出来る。層面破壊現象が一般的な力学的試験、土層問題への発展性を期待出来るものと思われる。また層面強度の低下が認められるため層面境界部分の補強による地盤の安定を試みる事も重要かと思われる。締固められた土の力学的性質を調べるために均一な密度が要求される。従来のモールドで締固めた場合は層面の位置が明確でない、そこでモールドを三等分した三層型モールドで供試体作製した場合の実験値が従来のモールドより高精度が得られた。

最後に本試験にあたり懇切御指導下さった日本大学工学部杉内裕泰先生に感謝の意を表します。

参考文献

1. 室町忠彦; 粘性土におけるコーン貫入抵抗と1軸圧縮強度との関係, 土木学会誌 1957.
2. 林公重; 杭の支持力, 先端抵抗, 引拔抵抗に及ぼす杭径の影響に因る模型実験的研究, 土木学会論文集 1964
3. 浅川美利, 宮城建樹, 山誠; 圧密特性に及ぼす粘土構造の影響, 第26回年次学術講演会, 土木学会 1971
4. 松尾新一郎, 宋永烈; 締固め土の構造と工学的性質の相関性に関する微視的研究, 土木学会論文集 1971
5. S.S. Vyazov, N.K. Pokrasakaya, R.V. Maximyak; On the Failure Process in Clayey Soils. Fourth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.
6. 森崎 近藤義正; 締固め土の圧縮強度の異方性とその成因, 土と基礎, 1967

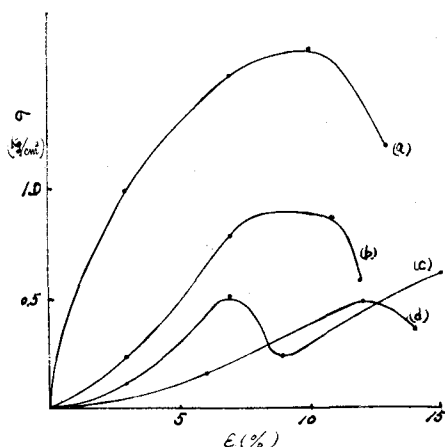


図-5 応力, ヒズミ曲線

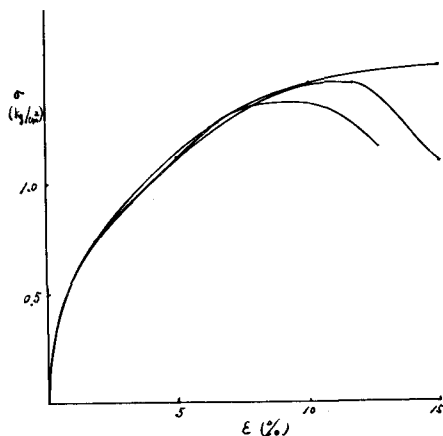


図-6 標準1軸圧縮試験